



STUDI NUMERIK OPTIMASI KINERJA HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE (HAWT) PADA POTENSI ANGIN TROPIS

Sutrisno¹⁾, Peter Jonathan²⁾, Fandi Dwiputra³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2,3)}

Jalan. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2,3)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail: tengsutrisno@peter.petra.ac.id¹⁾, peterjonathan007@yahoo.com²⁾, fandi@petra.ac.id³⁾

ABSTRAK

Metode numerik yang digunakan adalah Computational Fluid Dynamics (CFD) pada penelitian ini berupa program komersial yaitu FLUENT. Disain Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT) menggunakan metode Blade Element Moment (BEM) sehingga didapatkan konfigurasi twist dan chord length terhadap radius blade turbin. Kajian penelitian ini dilakukan pada Tip Speed Ratio (TSR) 8 dan variasi blade yang dioptimalisasikan 3 jenis yaitu: uniform ideal blade, uniform linearized blade dan mixed ideal blade. Uniform ideal blade didapatkan dari BEM kemudian digunakan profil NREL S-833 di sepanjang radius, sedangkan untuk uniform linearized blade merupakan hasil BEM yang dilanjutkan dengan proses linierisasi. Mixed ideal blade merupakan rekomendasi dari NREL dengan konfigurasi (r/R) 0.4, 0.75, dan 0.95 airfoil NREL S-835, NREL S-833, dan NREL S-834. Kecepatan aliran free stream yang digunakan antara 1-15 m/s dan kondisi fluida berputar digunakan moving mesh reference dengan putaran 510rpm. Hasil validasi daya yang dihasilkan antara numerik dan eksperimen rata-rata kesalahan sebesar 24%, kesalahan tersebut semakin meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan. Hal ini disebabkan akibat fenomena separasi aliran 3D di tip dan hub. Hasil optimasi HAWT didapatkan pada 6 m/s pada setiap metode, yaitu: uniform ideal blade, uniform linearized blade dan mixed ideal blade sebesar 36.8%, 29.6% dan 38%. Oleh karena itu proses linierisasi BEM tidak efektif sebab hanya bertujuan mempermudah proses fabrikasi saja, sedangkan konfigurasi profil airfoil dapat meningkatkan kinerja HAWT sebesar 1.2%.

Kata kunci: HAWT, turbin, simulasi numerik, kinerja, makalah, seminar nasional, teknik mesin.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi semakin besar, sehingga berdampak terhadap kesediaan bahan bakar di dunia. Saat ini isu tentang krisis energi semakin kuat, hal dibuktikan terjadinya kenaikan bahan bakar fosil yang luar biasa, sehingga pengembangan alternatif energi sebagai pengganti bahan bakar semakin semarak dilakukan oleh beberapa peneliti, salah satunya Robinson dkk [12]. Peneliti mengembangkan penelitian terhadap dampak aliran separasi 3D terhadap kinerja HAWTs. Penelitian tentang wind turbine telah ditinggal sejak awal abad 19 kepopuleran mesin uap pada revolusi industri di Inggris, kemudian berlanjut pada abad 20 terhadap penggunaan bahan bakar fosil yang melimpah dan murah. Namun dampak penggunaan bahan bakar fosil berdampak terhadap kerusakan lingkungan dan pencemaran lapisan atmosfer dengan kadar CO₂ yang tinggi sehingga berdampak pada efek rumah kaca yang menimbulkan pemanasan global. Oleh karena itu penelitian terhadap renewable energy dituntut untuk dijadikan cara alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Pemilihan pemanfaatan energi angin khusus di daerah Tropis berdasarkan data dari BKMKG[4]. Potensi angin di daerah tropis khusus di Surabaya memiliki arah yang tetap yaitu bergerak ke arah timur ke barat pada musim kemarau dan sebaliknya pada musim penghujan. Selain itu pengaruh angin di daerah tropis dipengaruhi oleh angin laut dan angin darat namun presentasi lebih kecil. Data BKMKG[4] diambil pada titik pantau Perak dan Djuanda selama 3 tahun terakhir.

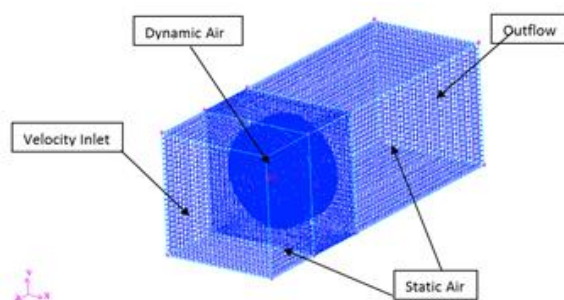
Karakteristik angin di daerah tropis memiliki variasi kecepatan yang tinggi dan stabilitas yang kecil sehingga diperlukan pengkajian fundamental terhadap karakteristik aliran tropis, sebab selama ini HAWT hanya berkembang di daerah subtropis. Manvel dkk[10] menyatakan bahwa jenis turbin yang direkomendasi pada aliran yang memiliki arah angin yang tetap Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) dibandingkan dengan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT). Jenis turbine yang digunakan merupakan jenis aliran aksial sebab tidak memiliki head yang cukup, namun hanya mengandalkan debit aliran pada arah aksial. Selain itu pada putaran spesifik potensi pada daerah tropis disarankan menggunakan turbin dengan 3 blade dengan kecepatan sedang, apabila kecepatan tinggi digunakan 2 blade.

Potensi angin diperkotaan khusus Surabaya memiliki harapan yang cukup besar, sebab banyak terdapat gedung-gedung pencakar langit. Gedung tinggi tersebut dapat dijadikan lorong angin yang mengarahkan aliran angin menuju sebuah tempat lorong turbin angin sehingga diharapkan dapat mempercepat aliran akibat efek nosel. Oleh karena itu Universitas Kristen Petra akan dibangun gedung P1 dan P2 yang berkonsepkan gedung hemat energi, dengan harapan gedung ini dapat memproduksi kebutuhan energinya dengan menggunakan energi alternatif (renewable energy) salah satu angin. Priatman dan Jimmy[11] memaparkan konsep lorong angin yang akan dibangun yang direncanakan sebagai lorong angin untuk mengerakkan HAWT. Sehingga dibutuhkan simulasi disain HAWT untuk diterapkan pada gedung tinggi di daerah Tropis khususnya di daerah pinggir pantai.

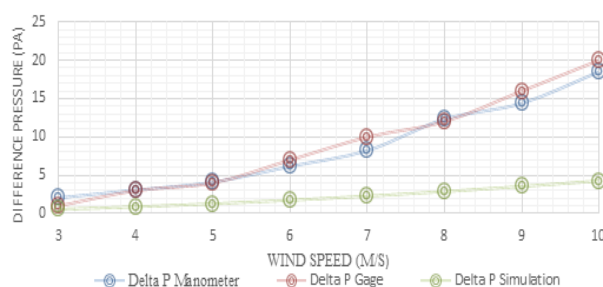
2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan lanjutan dari proses disain turbin angin HAWT, dimana dilakukan optimasi model dalam memperbaiki kinerja turbin angin. Optimasi ini dilakukan dengan metode numerik menggunakan program komersial ANSYS FLUENT dengan variasi kecepatan 0 sampai 15 m/s sesuai dengan potensi angin yang berada di Surabaya berdasarkan data BMKG[3], model bentuk turbin angin HAWT menggunakan 3 jenis yaitu : uniform ideal blade, uniform linearized blade dan mixed ideal blade. Uniform ideal blade didapatkan dari BEM kemudian digunakan profil NREL S-833 di sepanjang radius, sedangkan untuk uniform linearized blade merupakan hasil BEM yang dilanjutkan dengan proses linierisasi. Mixed ideal blade merupakan rekomendasi oleh NREL[10] dengan konfigurasi (r/R) 0.4, 0.75, dan 0.95 airfoil NREL S-835, NREL S-833, dan NREL S-834. Simulasi dilakukan dengan model analisa absolute sehingga menggunakan metode moving mesh reference dengan putaran 510rpm. Model viscous yang digunakan menggunakan k-epsilon RNG dengan standard wall function dan kriteria konvergen dibatasi dengan nilai kesalahan 10^{-3} . Kajian penelitian ini dilakukan pada Tip Speed Rasio (TSR) 8 dan domain simulasi numerik dipaparkan pada Gambar 1.

Simulasi numerik dilakukan dengan berbagai tahap, antara lain grid independency proses pemilihan ukuran dan jumlah mesh. Selain itu hasil simulasi dibandingkan dengan eksperimen pada lorong angin, pengukuran dilakukan dengan menggunakan pressure gate dan manometer. Hasil validasi dipaparkan pada Gambar 2. Hasil validasi ditunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin didapatkan penyimpangan yang semakin besar dengan rata-rata 24%. Hal ini disebabkan pada pengukuran dijumpai aliran sekunder sehingga hasil pengukuran mengalami kesalahan yang semakin besar. Selanjut penelitian ini akan dilakukan eksplorasi terhadap kinerja dari disain dari Manwell[9] dengan menggunakan analisa numerik.



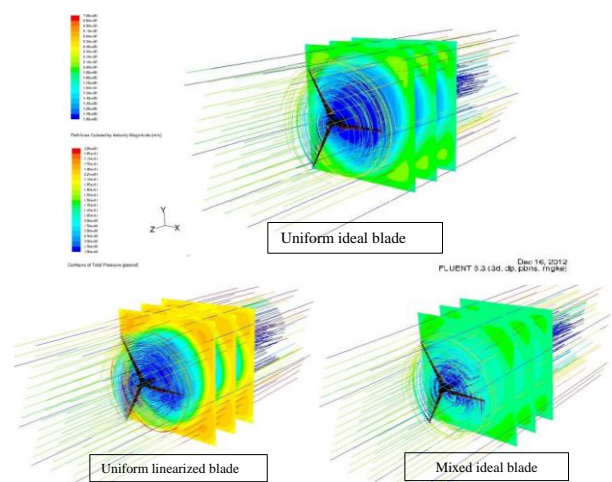
Gambar 1. Domain simulasi numerik



Gambar 2. komparasi perbedaan tekanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

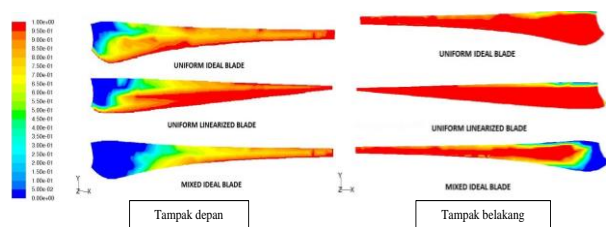
Simulasi numerik dipaparkan pada Gambar 3 berupa kontur tekanan total dan streamline kecepatan aliran yang melintasi HAWT pada kecepatan free stream dan putaran yang sama. Pada uniform linearized blade distribusi energi yang dihasilkan secara kualitatif memiliki nilai energi yang paling besar, hal ini menunjukkan bahwa penyerap energi lebih kecil dibandingkan dengan uniform ideal blade. Sebaran tekanan total pada proses linierisasi sangat besar di daerah luar radius blade, sehingga energi tidak dapat terserap baik oleh blade. Tangler[13] memaparkan teori tentang konfigurasi profil blade oleh karena itu teori tersebut diterapkan pada mixed ideal blade. Hasil pada mixed ideal blade ditunjukkan bahwa sebaran tekanan total lebih uniform sehingga serapan energi semakin besar yang menyebabkan kinerja yang dihasilkan oleh HAWT juga semakin besar.



Gambar 3. Kontur tekanan total dan streamline melintasi HAWT

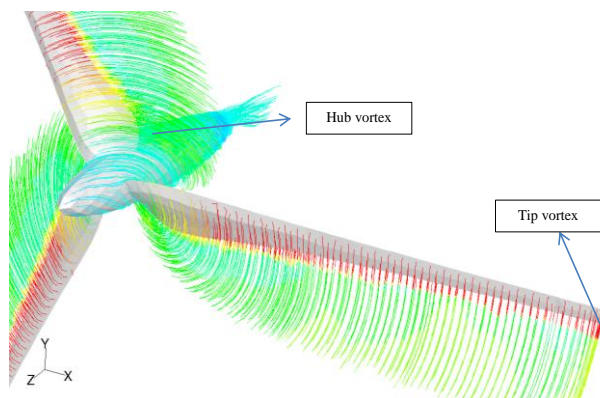
Hasil eksplorasi karakteristik aliran disekitar blade dipaparkan pada Gambar 4 dengan parameter total pressure loss coefficient tampak yang menginformasikan terjadinya kerugian energi pada blade. Pada kerugian energi yang paling besar terjadi pada uniform linearized blade, hal ini disebabkan profil bodi tidak aerodinamik dibandingkan dengan uniform ideal blade. Selain itu bentuk blade hasil proses linearized memiliki bentuk lebih lebar, namun kerugian energi semakin besar sehingga kerugian energi semakin besar. Dampak kerugian energi khusus didekat hub disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder, sebab aliran tersebut menyebabkan terjadinya separasi aliran 3D. Separasi aliran 3D menurut Abdulla[1] merupakan interaksi dua aliran viscous yang saling berdekatan, hal ini terjadi pada daerah dekat dengan hub dan tip. Konfigurasi profil blade berdasarkan NREL yaitu mixed ideal blade didapatkan tertundannya terjadi separasi aliran 3D khususnya didekat hub, sehingga kerugian energi yang terjadi semakin kecil. Hal ini ditunjukkan pada kontur total pressure loss coefficient di daerah hub didominasi oleh kontur berwarna biru yang memiliki nilai mendekati nol. Selain itu pada daerah tip kerugian energi bagian depan blade ditunjukkan bahwa mixed ideal blade mampu mereduksi terjadi kerugian energi, namun pada bagian belakang kerugian energi tidak dapat dihindari. Pada eksplorasi ini dinyatakan bahwa

semakin panjang chord length profil blade belum tentu dapat menghasilkan kinerja semakin baik, hal ini dibuktikan bahwa uniform linearized blade memiliki kinerja yang paling buruk dibandingkan dengan bentuk yang lain walaupun memiliki chord length lebih pendek. Metode linearized digunakan untuk mempermudah proses fabrikasi sedangkan pada saat ini perkembangan proses permesinan CNC mengalami kemajuan yang pesat, sehingga proses pembuatan ideal blade lebih mudah dilakukan.



Gambar 4. Kontur koefisien iso tekanan total pressure loss pada blade.

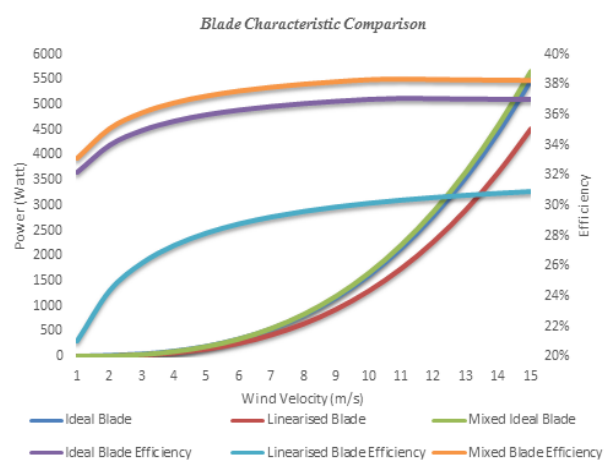
Mixed ideal blade yang dilakukan variasi bentuk profil blade berdasarkan rekomendasi Tangler[13] mampu mengurangi terjadi kerugian energi khususnya di daerah hub akibat aliran sekunder. Selain itu metode tersebut dapat menyerap energi lebih merata disepanjang bentangan blade. Three dimensional flow atau aliran sekunder yang terjadi pada blade dipaparkan pada Gambar 5 bahwa aliran sekunder akan menghancurkan energi lebih besar di daerah junction bodi, baik pada dekat hub maupun dekat tip. Namun pada mixed ideal blade terlihat terjadi hub vortex terlihat sangat kecil dibandingkan di daerah tip, hal ini menyatakan bahwa kejadian hub vortex tereduksi dengan baik oleh bentuk airfoil NREL S-835 dibandingkan dengan NREL-S833.



Gambar 5. Hub dan tip vortex pada blade HAWT Mixed Ideal Blade.

Tinjauan peningkatan kinerja HAWT berlanjut pada kajian kuantitatif terhadap karakteristik berbagai variasi kecepatan free stream yang berdasarkan potensi angin di Surabaya, Jawa Timur. Potensi angin khususnya di Surabaya memiliki variasi kecepatan yang cukup tinggi dan kestabilan kecepatan aliran yang rendah, oleh karena itu diperlukan kajian fundamental terhadap kinerja HAWT. Hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi kecepatan angin berada diantara 14-15 m/s yang merupakan kecepatan paling maksimum terjadi di daerah Surabaya. Daya yang dihasilkan mendekati

4,5kWatt dengan diameter blade 3 meter dan putaran 510 RPM untuk uniform ideal blade, 3kWatt untuk uniform linearized blade dan 5kWatt untuk mixed ideal blade. Variasi profil blade dapat meningkatkan daya sebesar 500 Watt, sedangkan proses uniform linearized blade turun 1,5kWatt. Hasil efisiensi HAWT untuk menangkap energi angin menjadi energi gerak putaran poros setiap metode, yaitu : uniform ideal blade, uniform linearized blade dan mixed ideal blade sebesar 36.8%, 29.6% dan 38%. Hal ini dipaparkan pada Gambar 6. Oleh karena itu metode linearized blade sudah tidak layak digunakan sebab proses fabrikasi yang rumit dapat diselesaikan dengan CNC machining. Peningkatan efisiensi kerja akibat variasi profil didapatkan kenaikan 1.2% dari uniform ideal blade, namun apabila dipantau pada kontur kerugian energi di sekitar blade akan lebih tampak.



Gambar 6. Kinerja HAWT berupa daya dan efisiensi.

4. KESIMPULAN

Karakteristik potensi angin yang berada di daerah tropis khususnya di daerah Surabaya memiliki variasi kecepatan yang tinggi dan kestabilan rendah, namun arah aliran sepanjang tahun bergerak ke arah timur ke barat apabila musim kemarau sedangkan pada musim penghujan arah aliran berkebalikan. Didapatkan bahwa disain HAWT yang paling optimal sebagai berikut.

1. Optimalisasi kinerja HAWT terjadi pada antara 14-15 m/s, sehingga berada di kecepatan maksimal potensi angin di daerah tropis.
2. Metode BEM dengan linearisasi sudah tidak berlaku digunakan sebab proses fabrikasi di proses saat ini telah menggunakan teknologi robot (mesin CNC).
3. Panjang chord length sepanjang bentangan radius blade tidak selalu dijadikan parameter penentu kinerja HAWT.
4. Variasi profil blade berdasar Tangler[13] dapat meningkatkan kinerja sebesar 1.2% dan mengurangi terjadi kerugian energi khusus di dekat hub akibat aliran sekunder.
5. Efisiensi kinerja HAWT yang terbaik terjadi pada mixed ideal blade sebesar 38% dari potensi angin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdulla, A. K., Bhargava, R. K., and Raj, R., "An Experimental Study of Local Wall Shear Stress, Surface



- Statics Pressure, and Flow Visualization Upstream, Alongside, and Downstream of a Blade Endwall Corner”, *Journal of Turbomachinery*, Vol. 113, pp. 626-632, 1991.
- [2] Althaus, D. ,”Airfoils and Experimental Results from the Laminar Wind Tunnel of the Institute for Aerodynamik and Gasdynamik of the University of Stuttgart”, University of Stuttgart, 1996.
- [3] Betz, A., “Windenergie und Ihre Ausnutzung durch Windmoullen. Vandenhoeck and Ruprecht”, Goottingen, 1926.
- [4] BMKG, ”Data Kecepatan Angin Bulanan Surabaya”, 2009-2011.
- [5] Charles, “Perancangan Prototype Turbin Angin Poros Vertikal Sebagai Pembangkit Listrik”, Tugas Akhir Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- [6] De Vries, O. (1979) Fluid Dynamic Aspects of Wind Energy Conversion. Advisory Group for Aerospace Research and Development, North Atlantic Treaty Organization, AGARD-AG-243.
- [7] Eldridge, F. R. (1980) Wind Machines, 2nd edition. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [8] Glauert, H. (1935) Airplane Propellers, in Aerodynamic Theory (Ed. W. F. Durand), Div. L. Chapter XI, Springer Verlag, Berlin (reprinted by Peter Smith (1976) Gloucester, MA).
- [9] Lysen, E. H. (1982) Introduction to Wind Energy. Steering Committee Wind Energy Developing Countries. Amersfoort, NL.
- [10] Manwell, J., McGowan, J., and Rogers, A. (2002). Wind Energy Explained. Theory, Design and Application. John Wiley and Sons, Ltd.
- [11] Priatman, Jimmy (2011). Perencanaan Gedung P1 dan P2 UK Petra: Penerapan Konsep Green Building & Energy Saving. <<http://www.petra.ac.id/berita/perencanaan-gedung-p1-dan-p2-uk-petra-penerapan-konsep-green-building-and-energy-saving/>>
- [12] Robinson, M.C., Hand, M.M., Simms, D. A., Schreck, S. J., “Horisontal axis wind turbine aerodynamics: Three-Dimensional, Unsteady, and Separated flow influences, ASME/JSME San Francisco, California, Juli 18-23, 1999.
- [13] Tangler, J. L., “NREL Airfoil families for HAWTs”, National renewable energy laboratory 1617 Cole boulevard, Golden Colorado 80401-3393.
- [14] Wilson, R. E. and Lissaman, P. B. S.,”Applied Aerodynamics of Wind Power Machine”, Oregon State University, 1974.
- [15] Wilson, R. E., Lissaman, P. B. S. and Walker, S. N.,”Aerodynamic Performance of Wind Turbines”, Energy Research and Development Administration, ERDA/NSF/04014-76/1, 1976.